机器人系统复制髁突运动的精确性：初步报告

Accuracy of a robotic system for the reproduction of condylar movements: A preliminary report
Dieter H.Edinger
原载 Quintessence Int 2004;35:519~523(英文).

韩冬 译　冯海兰 校

摘要　**目的**　评价 ROSY—— 一种类机器人的电子模拟器(由作者发明)在复制患者的髁突运动记录方面的精确性。

方法和材料　模拟器由定制的超声系统组成,它可以在三维方向(垂直面、水平面和冠状面)以六自由度记录下颌的运动。模拟器可以通过有 6 个快速运动马达沿着机器人系统的轴自动复制所有的运动。通过 2 种方法记录 10 个受试者的双侧非正中颌位来测量模拟器在空间内所有方向的精确性:(1)通过超声记录系统;(2)同时使用殆记录材料。使用两种测量方法差异的标准差和四分位间距来统计性地描述 ROSY 的精确性。

结果　整个系统的精确性好于 0.28mm。

结论　电子模拟器满足了临床应用的精确性。

下颌运动不能用简单的轨迹来描述，因为生物学结构弹性地与骨结构相关，并且每个个体都是独立的。因此,机械殆架精确复制下颌运动的能力有限。这个局限性是固有的并且不能通过个别制作的髁导来克服。

过去已经介绍过一些追踪下颌运动的装置。第一个模拟下颌运动的系统由 Gibbs 和 Lundeen 在 1971 年设计。这个装置通过用 6 个快速运动马达移动患者的下颌模型来机械性地模拟下颌运动。该系统可以测量、记录和复制咀嚼运动。因为它主要设计用于研究目的,其实用性差导致不能临床常规使用。一个相似的系统是由 Watson 介绍的马达驱动模拟器。

机器人系统(ROSY)是由作者发明的原型,克服了很多早期设计的局限性。类机器人的电子模拟器复制以往采集的患者的下颌运动。ROSY 可能的临床应用包括模型咬合的分析,咀嚼和异常功能运动,殆面的设计,修复体再上殆架调殆 ,以及殆垫的制作。

ROSY 基于超声电子测量装置(或超声记录仪[USR])在六自由度内记录下颌运动，及一个用电脑控制的马达自动复制运动的模拟装置。USR 同时测量双侧髁突和切点的运动。7 个超声发射器安装在戴在患者头部的上部面弓内(图 1)。7 个超声接收器安装在固定于下颌牙列托盘的下部面弓内。每个发射器单独与一个接收器联系。这些配对几何地放置在下颌周围来测量整个下颌的三维位置。每个发射器按顺序向它的接收器发出一系列的超声信号。反映时间取决于距离,超声电子系统的精确性在 0.08mm 以内。测量的距离储存在电脑内。通过 3D 呈现软件的帮助下颌上每个点的空间内运动都能可视及分析。

测量的距离被输入 ROSY 内，它控制沿着纵向轴运动的线性传感器(图 2)。马达的精确性在 0.03mm 内,并

译者　北京大学口腔医学院
北京海淀区中关村南大街 22 号　100081

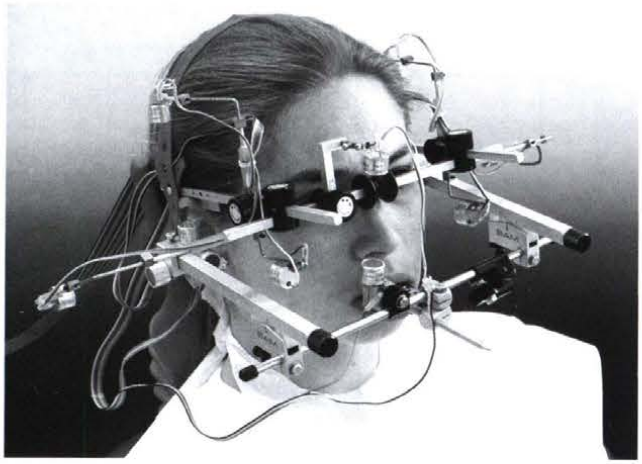

图 1　病人佩戴超声记录仪

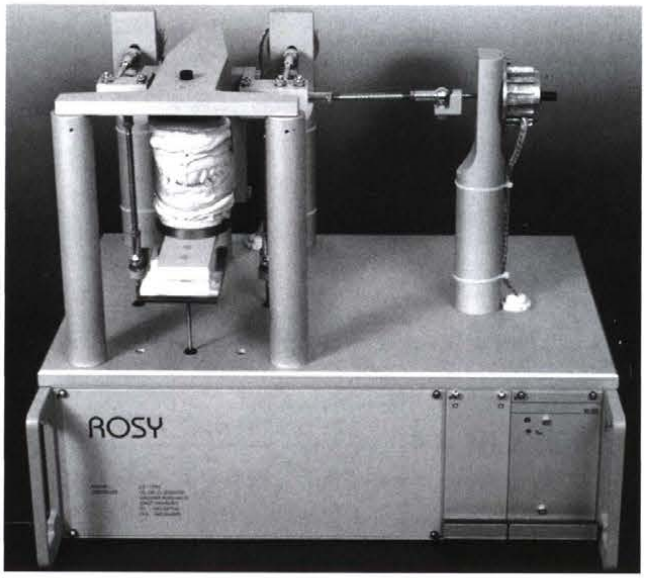

图 2(右)　放置了病人模型的机械系统(ROSY)

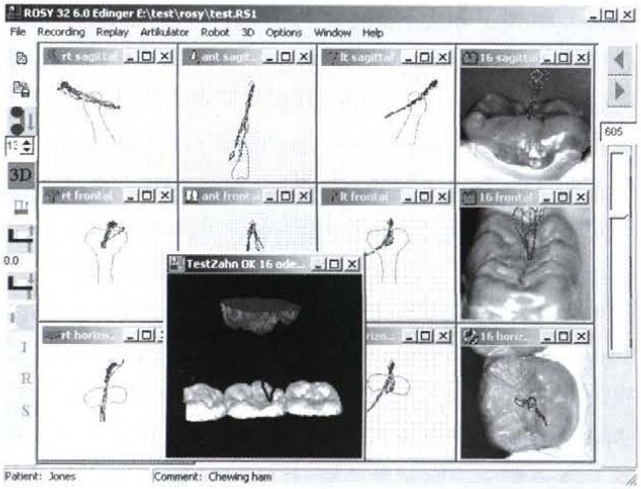

图 3　ROSY 程序的主界面

且通过通用关节连接在模拟器-下颌上。无论下颌何时运动，这些轴遵循相同的几何规则和超声发射器和接收器的配对。这个构造很大程度上简化了测量距离的校正。

一个专门设计的分析程序使下颌运动可以在电脑屏幕上呈现。每侧髁突和下颌切点可以在正面、侧面和水平面上显示。上颌和下颌磨牙也可以显示为 3D 图像(图 3)。电脑屏幕上的 10 个视窗可以任意的放置和改变大小。相对位置可以 1/100-mm 的比例数字化显示。可以拖动屏幕上的卷轴条使用对话框来调整每个传感器的位置。模拟器通过 6 个独立的传统殆架进行平衡，这些信息可被储存入电脑并可在任何时候调用。另一个对话框显示以前关于病人的资料，注释的记录以及下颌运动的回顾。模拟器的主要控制在屏幕的右侧。点击前进-后退键来开启和停止模拟器。卷轴条可以显示记录的相对位置也可用于控制。电脑屏幕底部的身份条显示病人的姓名和注释。

病人的印模和诊断模型通过正中关系记录上传统殆架。在确定正中关系时第一个牙齿的接触后通过传统技术确定和记录正中关系。制作模型并在正中关系上殆架,然后模型被输入 ROSY。要达到这一点,传统的殆架与 ROSY 必须是平衡的,比如,上颌与下颌模型的几何关系必须是同样的。为达到平衡,机械殆架上有标准的调整块来适应 2 个模型。将调整块放置在 ROSY 上，然后通过键盘调整下颌的位置直到与模型相吻合。这个位置被储存为“模拟器零点”,一般在使用或传输 ROSY 几小时后才需要重新调整。

然后通过一个用制作的安装板简化的程序将病人的模型放入 ROSY 中。将上颌的框架松松地放置在模拟器上并用 3 个针支持。因此,这个位置就被精确地定位下来,然后可以轻松移去框架。

如果永远位于“模拟器零点”的位置,最初的牙齿接触将是少见的，这个位置取决于正中关系记录的高度以及在上殆架过程中前部止动针的位置。在传统殆架上，通过降低前部止动针直到所有牙齿接触来解决这

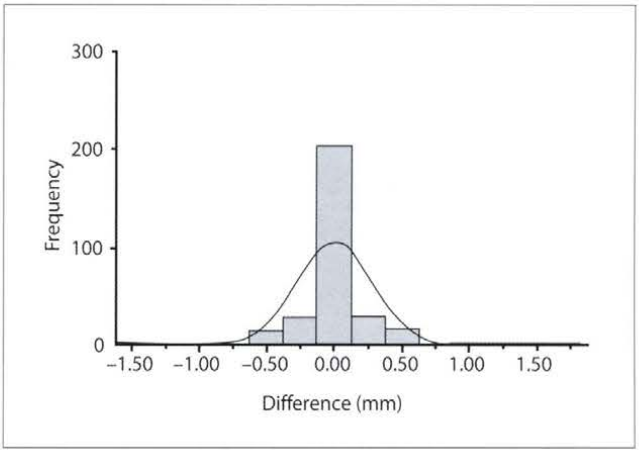

图 4　USR 与 ROSY 测量值之间差异的直方图(标准差=0.28；均数=0.00；N=300)

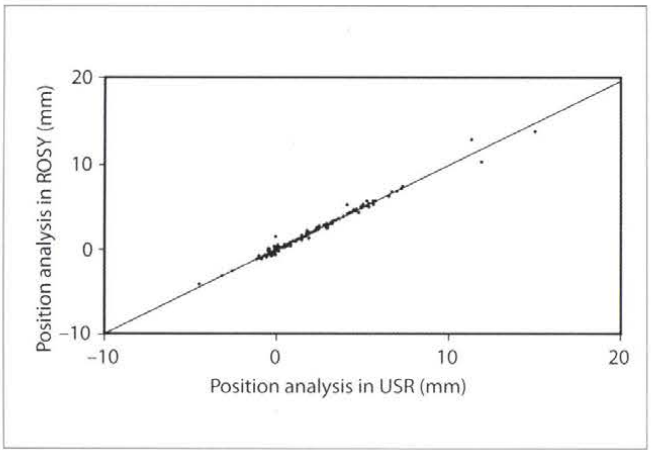

图 5　USR 和 ROSY 位置分析的点分布

个问题。同样地，ROSY 有一个名叫前部调整的软件，可以通过键盘调整下颌直到达到牙齿接触。这个位置与电子记录中病人的最初位置是一样的，它同样也可以显示在正中关系时的最初牙齿接触。这些程序后，模拟器可以以任何需要的方式重复下颌运动。

本文显示关于 ROSY 的精确性的结果。

方法和材料

本研究基于 10 个研究对象分别取的 5 个记录，所有的对象都没有颞下颌关节紊乱病，异常功能习惯，或磨牙症。这样就保证了病人组的同质性，并且总共 10 个病人足够进行分析。因为每个记录可以产生 6 个值，总共 300 个值可以根据标准差和四分位间距(25%~75%)进行统计学描述(SPSS 6.1 统计软件，SPSS)。

系统的精确性可以如下评价。首先，病人的非正中关系位用两种截然不同的方法进行记录：(1) 用 USR；(2) 同时用殆 记录材料记录，也在 ROSY 上测量。两种方法的结果进行统计分析和比较。用这些差异的标准差和四分位间距作为精确性的量度标准。理想地，2 个位置应该是一样的。尽管如此，实际上这些差异并非为零，因为他们是 USR-ROSY 系统总体的不精密性以及与用糊剂材料记录有关的不精确性的反映。而且，差异并非只源于电子系统，还源于影响正中关系的可变的生理因素。

用正中关系位定义所有后继运动的起始点。将 USR 安装在上颌和下颌上，然后让病人保持下颌在非正中位，这个位置就被 USR 记录下来。然后在 ROSY 程序中重现电子记录，一旦达到静态的非正中关系位运动就会停止。每侧髁突都在非正中位，根据与每侧髁突正中位有关的 3 个距离来描述(在腹侧、中央和尾部)。下颌位置的 6 个值可以显示在电脑屏幕上并用于分析。

在电子记录的同时，使用河记录糊剂(Superbite，Bosworth)并使其硬固。在与横断的水平轴(面弓)正确的关系上放置病人的上颌和下颌模型，并插入机器内。移除上颌分裂模型的磁铁，传统记录就被放置在上颌和下颌牙齿上。为测量位置，6 个马达被放置在与软件控制完美配合的位置上。获得的 6 个下颌位置的数值显示在电脑屏幕上并用于分析。对每个病人不同的非正中位置上重复这个记录几次。

结果

新颖的机械电子模拟器——ROSY 的精确性得到了检验，它可以复制曾经记录的病人的髁突运动，并且将通过 ROSY 获得的轨迹与通过超声记录系统 USR 获得的轨迹进行比较。ROSY 与 USR 记录之间的差异显示在图 4~6。图 4 表示这些差异的频数直方图符合正态分布，标准差是 0.28mm，四分位间距在-0.06mm 到+0.06mm。

图 5 显示彼此之间相同的距离，形成回归线。误差随偏

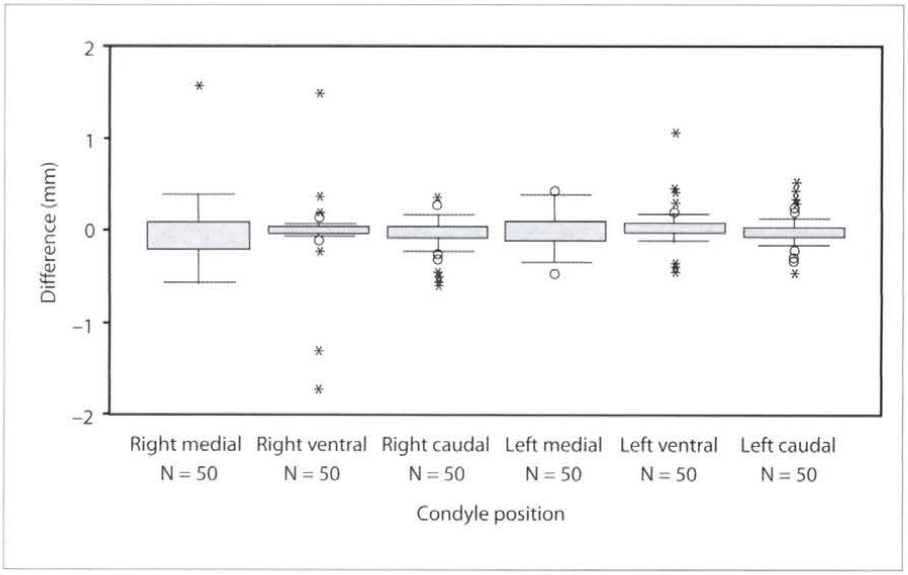

图 6 USR 与 ROSY 之间 6 个位置测量值的差异

离的扩展而增加,并且系统更精确地接近正中关系。

评价系统精确性的第三种方法显示在图 6 中。每个髁突的位置在前方、中央和尾部进行测量(表示在 x 轴)。每个方向用 3 种方法测量,并将差异描绘在 y 轴。各个方向的变异并不相等。中央方向的变异较其他方向更大。不过,这些误差包括在全部的精确性分析中。

讨论

系统的变化主要来源于两点:一个叫第一次误差,包括运动开始点的精确性,另一个叫第二次误差,由偏移的范围造成。

第一次误差源于上部或下部面弓固定不充分,USR 的非线性数字转换器步骤、ROSY 的非线性传感器步骤、关节传感器、殆记录和模型的不精确性,以及即使是在健康的人群中也不可忽略的正中关系的不稳定性。第一次误差起主要作用,因为它们贯穿于下颌运动的范围内。

第二次误差与下列因素有关:超声随温度和湿度改变传播速度不同,不精确的超声发射器和接收器配对的位置,坐标转换误差(程序误差),以及模型在 ROSY 上的位置的不精确。这些误差影响较小,因为它们只在开口幅度大于目前研究通常使用的振幅时有意义。

整个系统的精确性在 0.28mm 以内,包括两种误差。接近正中关系的运动是临床关注的重点。在这个范围内精确性被认为好于其他区域,并且在正中关系用传统方法上殆架的误差较使用电子系统上殆架的误差大。这表明 ROSY 适合临床应用。

Gibbs 发明的殆复制器在小范围运动时的误差是 0.243mm,在大范围运动时的误差是 0.574mm,可以与 ROSY 产生的误差比较。

ROSY 的临床应用不仅包括下颌运动的分析,而且可以进行殆面的设计。这可能对于种植体固位的修复体意义更重要,因为此时希望它承受垂直向的咀嚼力。垂直负荷不仅应建立在正中关系时,而且应贯穿于下颌运动的范围内。ROSY 允许检测每个患者整个下颌运动范围内种植体承受的负荷。因为将软组织的弹性考虑在内,所以可以避免非工作侧的接触。在 ROSY 中可以看到蜡型殆面的干扰并在传统殆架上进行消除,然后经过 ROSY 检验。

结论

电子殆架可用于模拟曾经记录的患者下颌的运动。模型通过软件控制的马达进行运动并在电脑中分析。系统的精确性在临床条件下进行检测并发现好于 0.28mm,这使它适合于临床应用。